

Materiály pro snižování hluku a vibrací

Vojtěch Studýnka

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Zde patří oficiální zadání diplomové práce.

Tato strana se ze šablony netiskne. Je to výstup z IS STAG.

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato práce pojednává o problematice hluku a vibrací a boje proti nim, přičemž v první části by měla čtenáře seznámit se základními fyzikálními veličinami a vztahy v akustice a drobná část této kapitoly je věnována i působení hluku na člověka. Druhá část se zabývá jednotlivými typy materiálů a konstrukcí, které tyto jevy (hluk a vibrace) potlačují. V závěru je zhodnocení materiálů v závislosti na možnostech jejich technického využití.

Abstrakt ve světovém jazyce

This Bc. thesis deals with the problems of noise and vibration and with the strategies and material specifications required for suppressing or damping the latter harmful effects. In the first part the reader will be introduced with the basic physical quantities and theoretical formulas in acoustics and minor part of this chapter deals with the physiological effects of noise on human individuals. Second part deals with the particular individual types of materials and constructions, which the latter harmful phenomena (noise and vibrations) suppress or completely attenuate. In the conclusions the listed materials are judged with respect to their possible applications in the technical praxes.

Tímto bych chtěl poděkovat prof. ing. Lubomírovi Lapčíkovi, Ph.d. za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 09. 06. 2005

.....

podpis

OBSAH

OBSAH	5
ÚVOD.....	6
1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST.....	8
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY V AKUSTICE.....	8
1.1.1 Hluk a vibrace	8
1.1.2 Vznik a šíření hluku	8
1.1.3 Akustický tlak	11
1.1.4 Akustický výkon	11
1.1.5 Intenzita zvuku	12
1.2 DECIBELOVÉ VELIČINY V AKUSTICE	13
1.2.1 Zavedení decibelové stupnice a působení hluku na člověka.....	13
1.3 METODY BOJE PROTI HLUKU.....	15
1.4 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ PRO SNIŽOVÁNÍ HLUKU A VIBRACÍ.....	16
1.4.1 Akustické vlastnosti pohltivých materiálů.....	16
1.4.2 Materiály pohlcující zvuk	16
1.5 METODY A PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ Činitele ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI.....	18
1.6 ZÁKLADNÍ TYPY MATERIÁLŮ A KONSTRUKCÍ VYUŽÍVANÝCH V PRAXI	19
1.6.1 Základní typy materiálů pro snižování hluku a vibrací.....	19
1.6.2 Základní konstrukční typy.....	21
ZÁVĚR.....	25
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	26
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	27
SEZNAM TABULEK.....	29

ÚVOD

Typicky negativním produktem současného civilizačního procesu je hluk. Ten se stal škodlivinou, s níž se setkává většina z nás nejen na pracovištích, ale i doma v době odpočinku. Tento hluk, který výraznou měrou ovlivňuje kvalitu našeho života se pro nás stává nebezpečím kterému musíme čelit. ve svých důsledcích totiž způsobuje řadu závažných onemocnění, které mohou být trvalého charakteru a mohou vést až k invalidnímu důchodu. Proto v posledních letech roste význam ochrany zdraví před hlukem, jež můžeme pozorovat. Dovídáme se , že lidé žijící v okolí dálnic, letišť, nočních barů a diskoték, lidé pracují v podnicích těžkého průmyslu, a i mnozí ostatní trpí hlukem, což se může projevit újmou na zdraví, společenskými škodami ale i ekonomickými ztrátami. A právě v důsledku těchto vlivů jsou podněty ze strany majitelů firem a kompetentních orgánů, vedoucí k řešení takovýchto negativních dopadů průmyslové a zábavní činnosti. K výše uvedeným dopadům negativních účinků hluku ovšem nutno podotknout, že vnímání hluku je čistě subjektivní záležitost a záleží na vztahu osoby k danému hluku tzn. to co by pro jednu osobu mohlo představovat nesnesitelný hluk, může být pro druhou představovat „ příjemný poslech “. Proto bojem proti hluku nerozumíme boj proti hluku jako takový, ale je to boj proti zbytečnému a intenzivnímu zvuku.

Prostředky a metody používané ke snížení hluku velmi často zasahují do základních konstrukčních dílů výrobků, stojů nebo staveb a závisí na použitých materiálech, funkci stroje, použitém technologickém postupu atd. Z technických a ekonomických důvodů lze pouze ve výjimečných případech dosáhnout dostatečného snížení hladiny hluku u vlastního zdroje, proto je mnohdy výhodnější zvolit úpravu akustických vlastností prostoru. velmi častým druhem takové úpravy je snaha o snížení intenzity zvuku v daném místě použitím pohltivých materiálů. Vhodnou volbou jednotlivých komponent mohou tyto materiály i při poměrně malých tloušťkách absorbovat značné množství akustické energie a dosáhnout tak vysoké zvukové pohltivosti.

Velmi známým a často používaným materiálem pro absorpci zvuku je odpadní pryž, získaná zejména z nekvalitních nebo ojetých pneumatik. Správně zvolenou kombinací pryžové drtě s pojivem vzniká materiál s výbornými akustickými vlastnostmi, zejména

pohltivostí. Ovšem oblast použití takových materiálů (a to nejen pryže, ale i dalších polymerních materiálů) je limitována jejich vlastnostmi, které v případě pryže nejsou ideální, ať už z hlediska vlastností tepelných nebo mechanických. V těchto případech můžeme použít keramické materiály, které se na rozdíl od pryžových materiálů vyznačují specifickými vlastnostmi jako jsou žáruvzdornost, tepelná vodivost, dobré mechanické vlastnosti. Oba zmíněné typy materiálů lze použít v závislosti na podmínkách například ve stavebnictví, strojírenství, vysokoteplotní technice, elektrotechnice atd.

Tato práce by nám měla nabídnout pohled na úvod do teorie hluku. A hrubý přehled používaných akusticky izolačních materiálů.

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 ZÁKLADNÍ POJMY A VELIČINY V AKUSTICE

1.1.1 Hluk a vibrace

Vibrace a hluk jsou průvodními jevy jak u procesů probíhajících v přírodě tak v procesech souvisejících s činností člověka jako jsou projevy pracovních procesů, výrobních strojů, dopravních prostředků, domácích elektrospotřebičů apod. Nelze proto vibrace a hluk zcela z pracovního a životního prostředí zcela odstranit, lze jej pouze redukovat na přijatelnou úroveň.

Hlukem lze nazvat každý nežádoucí, nepříjemný nebo škodlivý zvuk. Skládá se obvykle z několika dílčích tónů, jejichž kmitočty nejsou celočíselnými násobky. Přesná fyzikální definice hluku ovšem neexistuje a záleží na příjemci jak daný zvuk vyhodnotí. Zvuk je proto obecnější pojem než hluk. Zvuk je tedy akustické vlnění charakterizované frekvencí (počet kmitů za jednotku času 1s, $f = 20 \text{ Hz}$ až 20 kHz) a intenzitou (charakterizována střední hodnotou měrného akustického výkonu)

1.1.2 Vznik a šíření hluku

Hluk vzniká ze dvou základních příčin:

- a) mechanický hluk – kmitý povrchů strojů, stěn budov, technologických zařízení atd. Kmitající povrch tělesa způsobí akustický rozruch kapalného nebo plynného prostředí a svoji mechanickou energii odevzdává akustickému prostředí. Akustická energie souvisí s rozměry kmitajícího tělesa, tvarem jeho povrchu a stavem jeho kmitání.
- b) aerodynamický hluk – v oblastech neustálého proudění vzduchu nebo kapaliny, nebo všude tam kde dochází k výrazným změnám tlaku a tím ke vzniku vlnění příslušného média.

Hluk se šíří pomocí akustické vlny v hmotném prostředí směrem od zdroje ve všech směrech. Místa, do nichž dospělo vlnění ze zdroje za stejnou dobu, tvoří tzv. vlnoplochy, přičemž tato místa v daném okamžiku kmitají se stejnou fází. Šířícím se

vlněním se částice nepohybují, nýbrž kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Vlny lze rozdělit podle způsobu šíření na :

- a) podélné vlnění – vlnění se šíří v bodové řadě, tzn., částice kmitají ve směru akustického vlnění.
- b) příčné vlnění – částice kmitají kolmo na směr šíření akustické vlny.

Důležitým parametrem je vlnová délka:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde: λ [m] vlnová délka

c [m/s] fázová rychlost

T perioda

f [Hz] kmitočet

U plynů a kapalin se může vyskytovat pouze podélné vlnění, neboť tyto látky jsou pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. Jinak je tomu u pevných látek kde se může vyskytovat jak vlnění podélné tak příčné, jelikož vykazují pružnost nejen v tahu a tlaku, ale i ve smyku. Kombinací těchto kmitání vzniká kmitání ohybové.

Další velmi důležitou vlastností zvuku je rychlost jeho šíření. Zde je přehled rychlostí zvuku u některých běžných látek:

tab.I přehled rychlostí zvuku v některých materiálech

prostředí	c_L [m/s]
Vzduch 20 °C, 1 atm	344
Vodík	1270
Vodní pára	405
Voda 13 °C	1440
Přez měkká	70
Přez tvrdá	1400
Korek	500
Dřevo bukové	3900
Polystyrén	315
Silon	1250
Plexisklo	1580
Ocel	5750
Olovo	1410
Hliník	4800
Pórobeton	1800
Beton	3100
Cihly	2800
Sádra	2040

Konkrétní vztahy na výpočet rychlosti zvuku v různých materiálech jsou poměrně složité a závisí na mnoha různých faktorech jako jsou: druh materiálu, hustota, homogenita atd. Proto zde uvedu jen obecný vztah pro akustickou rychlost:

$$v = \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (2)$$

kde: u [m] akustická výchylka

τ [-] činitel zvukové pruživosti

1.1.3 Akustický tlak

Při šíření vlnění v bodové řadě lze v daném časovém okamžiku najít místa, kde dochází ke shluku většího počtu kmitajících bodů a naopak místa, kde je menší hustota molekul. Tomu odpovídají v plynech a kapalinách místa přetlaku a místa podtlaku. Celkový tlak v daném prostředí se tedy při šíření vlnění mění okolo původního barometrickému tlaku ovzduší.

Za akustický tlak je považována odchylka celkového tlaku od tlaku statického při vlnění v daném prostředí. Akustický tlak je tedy nasuperponován na barometrický tlak p_b a při vlnění o frekvenci f a fázovém posunu φ má tvar harmonické funkce:

$$p_c = p_b + p(t) \quad (3)$$

kde

$$p(t) = p_0 \cos(\omega t + \varphi) = p_0 \cos(2\pi f t + \varphi) \quad (4)$$

kde: p_0 je amplituda akustického tlaku

φ je fázový posun .

1.1.4 Akustický výkon

Množství mechanické energie, přenesené od zdroje akustickým vlněním, procházející za jednotku času myšlenou prostorovou plochou, nazýváme akustický výkon P [W].

$$P = F \cdot v = p \cdot v \cdot S \quad (5)$$

kde: p [Pa] akustický tlak

v [m/s] rychlost kmitajících částic

S [m²] plocha

Akustický výkon vztažený na plochu se nazývá měrný akustický výkon N [W/m²]. Měrný akustický výkon je funkcí času, je tedy dán součinem okamžitých hodnot akustického tlaku a akustické rychlosti.

1.1.5 Intenzita zvuku

Intenzita zvuku je střední hodnota měrného akustického výkonu:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T N d\tau \quad (6)$$

kde T [s] doba integrace

Intenzitu můžeme také vyjádřit také jako součin efektivního akustického tlaku a efektivní akustické rychlosti:

$$I = p_{\text{ef}} v_{\text{ef}} \quad (7)$$

$$p_{\text{ef}} = \frac{p_0}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$v_{\text{ef}} = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Jelikož v technické akustice dovedeme měřit běžnými přístroji pouze akustický tlak a nikoliv akustickou rychlost, s výhodou využíváme u rovinné vlny ty skutečnosti, že poměr mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí je konstantní.

Zavádí se měrný vlnový odpor (impedance) Z [Ns/m^3]

$$Z = \frac{p}{v} = \rho c \quad (10)$$

Dále se pohltivé vlastnosti materiálů dají vyjádřit pomocí koeficientu zvukové pohltivosti:

$$\alpha = \frac{P_p}{P_{\text{dop}}} \quad (11)$$

kde: P_p [W] je pohlcený akustický výkon

P_{dop} [W] je celkový dopadající výkon

Výše vyjádřené vztahy pro výpočet koeficientu zvukové pohltivosti α i akustické impedance Z jsou ale pro praxi nepoužitelné neboť se ve skutečnosti jedná o komplexní veličiny jejichž vyjádření je složitější.

1.2 DECIBELOVÉ VELIČINY V AKUSTICE

1.2.1 Zavedení decibelové stupnice a působení hluku na člověka

V praxi se základní akustické veličiny (akustický tlak, rychlost, intenzita zvuku) mění o mnoho řádů. např. akustický výkon, který odpovídá slabému šepotu, představuje hodnotu cca $1 \cdot 10^{-9}$ W naproti tomu křikem můžeme vyzářit do prostoru akustický výkon 10 až 20 W a velký proudový letoun až 10^5 W.

Základním parametrem zvuku, určujícím jeho účinek na člověka je intenzita, případně akustický tlak, dále také záleží na povaze hluku např. přerušovaný hluk je pro člověka nepříjemnější než hluky trvalé, dále lidské ucho nejcitlivěji reaguje na frekvence 50 – 5000 Hz. Lidské ucho ovšem nereaguje lineárně na zvukový podnět, ale jeho vnímání je úměrné logaritmu tohoto podnětu. Existuje logaritmická závislost mezi objektivními akustickými veličinami a subjektivním vjemem člověka. Proto byl zaveden pojem hladin jednotlivých akustických veličin, jejichž jednotkou je bel [B]. Vzhledem k značné šířce této veličiny se používá jednotka desetkrát menší, tedy decibel [dB].

$$L = \log \frac{A}{A_0} = \frac{\text{hodnota.porovnávané.veličiny}}{\text{hodnota.referenční.veličiny}} \quad (12)$$

Hladiny jednotlivých akustických veličin jsou definovány:

1.2.1.1 Hladina akustického výkonu L_w [dB]

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \quad (13)$$

kde: W [W] je hodnocený akustický výkon

$W_0 = 10^{-12}$ W – referenční výkon

$$L_w = 10 \cdot \log W + 120 \quad (14)$$

1.2.1.2 Hladina akustické intenzity L_I [dB]

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (15)$$

kde: I [W/m²] je měřená akustická intenzita

$I_0 = 10^{-12}$ W/m² – referenční hodnota

$$L_I = 10 \cdot \log I + 120 \quad (16)$$

1.2.1.3 Hladina akustické tlaku L_p [dB]

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (17)$$

kde: p [Pa] je akustický tlak v daném bodě prostoru

$p_0 = 10^{-5}$ Pa – referenční hodnota

$$L_p = 20 \cdot \log p + 94 \quad (18)$$

Hladina akustického výkonu L_w určuje akustický výkon vyzařovaný určitým zdrojem a je to tedy pouze vlastnost zdroje zvuku a výrazně se mění se vzdáleností od zdroje.

Hluk je obvykle generován více zdroji. Pak je nutno vyhodnotit celkovou hladinu hluku ve zvoleném bodě prostoru nebo ze známé celkové hladiny hluku odvodit hladinu hluku některého zdroje.

Pro výslednou hladinu akustické intenzity platí:

$$L_{ic} = \sum L_i = 10 \log \sum \frac{I}{I_0} \quad (19)$$

a výsledná intenzita zvuků s různou frekvencí se pouze sčítá.

Tab.č II přehled L_p a P u některých zvuků

Zdroj	L_p [dB]	P [W]
Raketový motor	180	10^6
Proudový letoun	170	10^5
Velký letoun (ohluchnutí)	160	10^4
Varhany	140	10^2
Velká sbíječka	130	10
Klavír	120	1
Rádio (nahlas)	110	10^{-1}
Axiální ventilátor	100	10^{-2}
Křičící člověk	90	10^{-3}
Vysavač	80	10^{-4}
Běžně mluvící člověk	70	10^{-5}
Velmi tichý šepot	40	10^{-8}
Práh slyšení	30	10^{-9}

1.3 METODY BOJE PROTI HLUKU

Opatření ke snížení hlučnosti prostředí a ke snížení doby expozice osob hlukem je možné realizovat těmito základními způsoby:

- a) Metoda redukce – je založena na celkovém odstranění zdroje hluku nebo ve snížení jeho hlučnosti
- b) Metoda dispozice – spočívá ve vhodném umístění hlučných strojů
- c) Metoda zvukové izolace – týká se odizolování hlučného stroje, zařízení nebo hlučného prostoru od chráněného.
- d) Metoda prostorové akustiky – využívá vlastnosti některých hmot pohlcovat akustickou energii a měnit ji v jinou formu.
- e) Metoda osobních ochranných pomůcek – jde o poslední možnost, když předchozí metody selhaly.

Nejlepších výsledků se dosahuje kombinací všech dostupných metod, přičemž se přednostně využívá ta metoda, která dokáže nejúčinněji snížit hluk.

1.4 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ PRO SNIŽOVÁNÍ HLUKU A VIBRACÍ

1.4.1 Akustické vlastnosti pohltivých materiálů

Technická akustika využívá zvukopohltivých materiálů ke snížení hladiny akustického tlaku v prostorech, kde je zdroj hluku umístěn nebo do kterých hluk proniká odjinud. Pod pojmem pohlcování zvuku rozumíme nevratnou přeměnu zvukové energie v energii jinou, a to třením, poklesem akustického tlaku nebo nepružnou deformací těles. Pro tyto účely jsou vhodné materiály a konstrukce, které snižují hluk v širokém pásmu a měly by být účinné hlavně v oblasti slyšitelného spektra, to však závisí na jejich struktuře, tloušťce, povrchové úpravě a dalších.

Z hlediska možného uspořádání a typické frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti je možné materiály a konstrukce rozdělit pro absorpci zvuku na:

- a) materiály - pórovité a vláknité
- b) konstrukce - pohltivé obklady
 - konstrukce typu Helmholtzových rezonátorů
 - kmitající membrány a desky
 - akustická tělesa

1.4.2 Materiály pohlcující zvuk

Materiály pohlcující zvuk mají převážně porézní nebo vláknitou strukturu, přičemž póry jsou vyplněny vzduchem a jejich povrchová úprava umožňuje pronikání akustické vlny ze vzduchu dovnitř pohltivého materiálu. Poměr objemu těchto dutinek k celkovému objemu látky bývá dosti značný a činí 60 až 95% celkového objemu v závislosti na druhu materiálu. Kostra porézního materiálu má buď vláknitou strukturu nebo strukturu ztuhlých pěny. Má-li materiál dobře pohlcovat zvuk, musí být jeho póry navzájem propojeny, aby se mohl zvuk šířit materiálem dále. Póry nemusí být propojeny u materiálů, jejichž kostra je velmi poddajná, elastická, takže zvuk do ní z pórů snadno přechází. Příkladem těchto materiálů jsou zpěněné měkké plastické hmoty.

Stále více narůstá trend používat na jejich výrobu odpadní materiály z různých technologických postupů. Jedná se například o odpadní textilie, desky a rohože z organických a anorganických vláken, dále desky z porézních umělých hmot.

Pohltivé vlastnosti u takových materiálů mohou být nastavovány pomocí změn jejich tloušťky, různým profilováním zvětšujícím jejich povrch, děrováním atd. Z provozních důvodů bývají většinou překryty ochranným krytem, který chrání absorpční výplň před poškozením a vypadáváním.

V porézních materiálech dochází k nevratné přeměně zvukové energie třemi základními způsoby:

- třením
- relaxací akustického tlaku
- nepružnou deformací

K přeměně *třením* rozkmitaných částic vzduchu o stěny při jejich vnikání do pórů pohltilivého materiálu dochází tedy, pohybují-li se vzduchové částice podél určité plochy. Má-li se takto přeměnit větší množství zvukové energie, musí plocha, na níž nastává tření, být dostatečně velká. Proto se k pohlcování zvuku tímto způsobem dobře hodí látky porézní, u nichž se zvuk v látce šíří malými póry, jejichž celková plocha je značně velká. K viskózním ztrátám zvukové energie dochází všeobecně na stěnách otvorů, pórů, na povrchu kanálků nebo vláken.

Tvoří-li akustický obklad deska nebo stěna, která je schopna mechanických kmitů v oblasti zvukového spektra, rozkmitá se vlivem dopadajících zvukových vln. Část mechanické energie desky se opět mění na energii akustickou, která vyzařuje do prostoru za touto přepážkou. Zbytek mechanické energie se mění na energii tepelnou vlivem vnitřního tření v kmitající přepážce.

U některých konstrukcí pro pohlcování zvuku se uplatňují oba způsoby přeměny akustické energie v energii tepelnou.

K *relaxaci akustického tlaku* v daném místě materiálu může dojít různými způsoby. Šíří-li se zvuková vlna látkou, nastane v místech zhuštění částic vzduchu v pórech zvýšení akustického tlaku a tím dojde v těchto místech ke zvýšení teploty. Jelikož

soustava pórů není od kostry materiálu tepelně izolována, přejde teplo ze vzduchu do kostry. Přejed teplo má za následek snížení teploty vzduchu a tím také pokles tlaku, jemuž odpovídá snížení potencionální energie zvukové vlny. Jiný způsob relaxace tlaku nastává při šíření zvuku kostrou materiálu. V místech zmenšení průřezu kostry nastane zvýšení teploty a jestliže je látka dobrým vodičem tepla, dojde k vyrovnání teplot s okolím a tím opět k relaxaci tlaku.

Vlivem *nepružné deformace* dochází k přeměnám zvukové energie u látek, které vykazují tzv. nepružnou hysterezi. Stlačíme-li takovou látku určitou silou, nevrátí se tato látka do původního stavu, přestane-li síla působit. Práce vynaložená na deformaci je tedy větší než práce získaná pružností tělesa při návratu a jejich rozdíl představuje úbytek zvukové energie vlivem nedokonalé pružnosti.

1.5 METODY A PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ ČINITELE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

Pro měření činitele zvukové pohltivosti můžeme použít např. dvoumikrofonovou impedanční trubici (uvedené parametry platí pro dvoumikrofonovou impedanční trubici typu 4206 firmy B&K) umožňující měření zvukové pohltivosti pro kolmý dopad zvuku ve frekvenčním rozsahu 50 – 6400 Hz. Analyzátor se skládá z -velké měřicí trubice v oblasti 16 – 1,6 kHz, která je vybavena obvodem pro vyvažování frekvence, zdrojem zvuku a třemi pozicemi pro montáž mikrofónů, malé měřicí trubice pro měření v oblasti 64 Hz – 6,4 kHz, se dvěma pozicemi pro montáž mikrofónů a malého a velkého držáku vzorků, které mají akusticky tvrdou zadní desku s pohyblivým pístem.

Tato metoda je založena na matematickém rozkladu širokého spektra náhodného signálu akustického tlaku na jeho dopadající a odraženou složku, přičemž reproduktorem je generován tzv. bílý šum, což je šum, jehož spektrum je spojitě v celém kmitočtovém pásmu a jehož spektrální hustota akustického výkonu je pro všechny kmitočty stejná. Dopadající a odražená složka akustického tlaku se určují ze vztahu mezi akustickými tlaky měřenými mikrofony ve dvou místech na stěně trubice. Z dopadající a odražené složky akustického tlaku můžeme určit přenosovou funkci (obvykle proces řídíme a vyhodnocujeme pomocí počítače a příslušného softwaru).

1.6 ZAKLADNÍ TYPY MATERIÁLŮ A KONSTRUKCÍ VYUŽÍVANÝCH V PRAXI

1.6.1 Základní typy materiálů pro snižování hluku a vibrací

Zde je stručný přehled základních materiálů pro snižování hluku a vibrací používaných v běžné technické praxi. Dále bych upozornil na to, že uváděné hodnoty a parametry jsou pouze orientační, reálné hodnoty závisí na mnoha faktorech jako jsou: velikost částic vzorků, použité pojiva, tloušťky vzorků a hlavně frekvenční rozsah pohlcovaného zvuku.

1.6.1.1 Lehké pórovité kamenivo

Lehké pórovité kamenivo, je velmi lehký granulát (běžně se vyskytuje ve formě kuliček o různé velikosti) vyráběný expandováním přírodního jílu. Svou podstatou se řadí mezi keramické materiály které jsou jedním nejosvědčenější stavebních materiálů. Jedná se však o vyšší stupeň zpracování výchozího materiálu, což umožňuje, že k základním vlastnostem keramických materiálů, jako je pevnost malá nasákavost zdravotní nezávadnost přistupují ještě další vlastnosti jako je například: velmi nízká objemová hmotnost a vynikající tepelně izolační vlastnosti, objemová hmotnost (od 250 do 900 kg/m³), tepelná vodivost (součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,09 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Objemově je stabilní do teploty 1050° Celsia, oblast použití je ve stavebnictví jako jsou lehké betony (konstrukce a výroba dílců) a lehké malty.

1.6.1.2 PUR drť

Používá se odpadní drť z různých výrob. Je to lehčený pórovitý materiál, odolávající teplotám do 70°C (hořlavý), frakce používané pro tyto účely mají velikost částic 0,6 až 2,9 cm, hustota se pohybuje v kolem 0,0137 g/cm³. Tyto materiály vykazují jedny z nejvyšších hodnot činitele zvukové pohltivosti a útlumu pro nejširší rozsah frekvencí. Pro svoje vynikající zvukově izolační vlastnosti mají širokou oblast využití.

1.6.1.3 Pryžová drť

Využívá se drť z nekvalitních výrobků a manipulačního odpadu. Frakce používané pro tyto účely mívají velikost částic 1,25 až 3,15 mm. Hustota se pohybuje kolem hodnoty $0,39 \text{ g/cm}^3$. Jedná se o hořlavý materiál. Tyto vzorky dosahují nejnižších hodnot zvukové pohltivosti oproti jiným materiálům určených k tomuto použití. Proto jsou nejméně vhodné k těmto účelům. Vhodné použití pro nenáročné aplikace velkou výhodou je vysoké produkované množství a cena.

1.6.1.4 Papírová drť

Používá se odpadní drť, která se dále lisuje a drtí. Materiál má vláknitou strukturu a je poměrně hořlavý. Používají se frakce o velikosti částic 0,9 až 5,15 mm a tloušťce 1,5 až 1,3 mm, hustota materiálu se pohybuje kolem $0,2 \text{ g/cm}^3$. Tento materiál má průměrné zvukově izolační vlastnosti nevýhodou je dále poměrně vysoká hořlavost, výhodou dostupnost a ekologická nezávadnost.

1.6.1.5 Lehčená gumová drť

Odpadní směs je tvořena vícebarevnou lehčenou gumou s různou tvrdostí a s mnohem menší pórovitostí oproti PUR, která je získávána rozemletím vyřazených podrážek bot. Frakce mívají velikost částic 0,5 až 3,4 mm, hustota směsi se pohybuje kolem $0,17 \text{ g/cm}^3$. Kvalita tohoto materiálu značně závisí na složení směsi a použitém pojivu. Jedná se také o materiál s průměrnými zvukově izolačními vlastnostmi.

1.6.1.6 Gumové granule

v tomto případě se jedná o materiál, který je připraven pro výrobu podrážek bot. Materiál je granulovaný a připravený ke zpracování. Frakce mívají velikost částic 3 až 6 mm, hustota se pohybuje kolem $0,66 \text{ g/cm}^3$. Kvalita tohoto materiálu značně závisí na složení a použitém pojivu. Jedná se o materiál s podprůměrnými zvukově izolačními vlastnostmi. Používají se zejména jako výplně do různých zvukově izolačních konstrukcí.

1.6.2 Základní konstrukční typy

Nejběžnější typy konstrukce zvukově a vibračně poltivých systémů. Jedná se zejména o různé typy laminátů, kompozitních vlasových smyčkových materiálů, skeletových deskových systémů, plynárně panelových systémů s proměnnou tloušťkou vzduchové mezery, volně sypaných čističových systémů, sendvičových pěnových kompozitních systémů, sendvičových kompozitů ztvarovanými kanálky(drážkami) nebo bez nich, a síťovaných polymerních systémů a protihlukových bloků.

1.6.2.1 Zvukově absorpční lamináty

Tyto systémy se vyznačují vysokou účinností útlumu při poměrně malé tloušťce vrstvy, proto mají nejširší využití, zejména v oblasti stavebnictví a dopravy. Lamináty se skládají z pórovitého izolačního substrátu(např. z polymerní vláknové matrice, nebo z plátů pěnové polymerní gumy) a povrchové tenké vrstvy s vysokým odporem vůči průtoku vzduchu. Zmíněná povrchová vrstva, která plní jednak zvukově izolační, jednak estetickou funkci je přilepena k povrchu pórovitého substrátu pro zvýšení jeho zvukově poltivých charakteristik, při tomto konstrukčním uspořádání je odpor vůči průtoku vzduchu větší než v případě samotného substrátu, a laminát má tak vyšší hodnotu koeficientu zvukové pohltivosti a navíc i lepší mechanické a pevnostní charakteristiky. Jako povrchový materiál regulující průtok vzduchu můžeme použít: papír, textilie, nebo perforovaný polymerní film. Jako pórovitá matrice byly použity systémy na bázi: skleněných nebo polymerních vláken, případně polymerních pěnových materiálů. Použité pojivo může být na bázi epoxidové pryskyřice modifikované polybutadienovým elastomerem . Jako vláknová složka byla použita tkanina na bázi polyetylenových vláken.

1.6.2.2 Kompozitní vlasové smyčkové materiály

Tyto materiály mají zvýšený odpor vůči smykovému namáhání a dvojí funkci: tlumí rázy a zároveň zvukově izolují. Do prostoru mezi vlákna poměrně tvrdých polymerů se aplikuje kapalný polymerní elastomer takovým způsobem, aby v matrici vláken vytvořily makroskopické dutiny za současného vzniku kompaktní povrchové vrstvy, jako elastomer může být použita termoplastická kapalina např. latex(přírodní,

neoplenový, akrylonitril-butadienový atd.), jako pevná vlákna mohou být využity organické materiály jako např. dřevěná vlákna, která mohou vytvořit trojrozměrnou propletenou strukturu.

1.6.2.4 Skeletové deskové systémy

Podpěrná trámová konstrukce je tvořena dvěma hliníkovými deskami a křížovými hliníkovými podpěrnými nosníky. Vibračně poltivá vrstva se deformuje v kolmém směru na vnitřní plochy podpěrných nosníků a vnitřní stranu spodní deskové podpěry. Tímto uspořádáním se dosahuje tlumení proměnnou vibračního pohybu na tepelnou energii. Při vlastní výrobě je nutno dosáhnout maximální adheze anti-vibračního materiálu k povrchu hliníkové konstrukce s co možná nejnižším obsahem vzduchových bublin. Tímto způsobem je možné vyrobit plošné segmenty, které účinně tlumí vibrace a jsou vhodné pro konstrukci různých dopravních prostředků zejména velmi rychlých vlaků, jako tlumící materiál je možno použít skleněné vaty lepené plastickým lepidlem(speciálním syntetickým butylkaučukem).

Planární panelové systémy s proměnnou tloušťkou vzduchové mezery. Tyto panely se skládají z vodících paralelních kovových(plastových), pokrytých jednou nebo více vrstvami plastového materiálu(např. dřevotřískou, dřevem, sklem a pod.), čímž se dosahuje proměnné tloušťky vzduchové vrstvy. Pro tyto materiály jsou charakteristiky vzduchové neprůzvučnosti důležitější než charakteristiky vzduchové pohltivosti. Změnou tloušťky vzduchové mezery je možné tento systém patřičně naladit na požadované frekvenční hodnoty maxima zvukové pohltivosti, bylo zjištěno, že příčný přenos zvuku panelem je způsoben zejména těmito dvěma přenosovými mechanismy. Za prvé, interakcí mezi panelem a uzavřeným objemem vzduchu v mezeře, tzv. náhodným efektem. Za druhé, vlastní rezonance panelu a sní spojené harmonické vibrace vede ke vzniku řady kritických frekvencí ve vyšším frekvenčním pásmu. Tímto způsobem je možné rozložit příslušné zvukové spektrum na několik kritických frekvencí o nižší hodnotě zvukové energie. Tyto panely mají v řezu trojúhelníkovou strukturu.

1.6.2.5 Volně sypané částicové systémy

Na výrobu těchto zvukově poltivých systémů je možno použít např. drcenou recyklovanou pryž o různé zrnitosti, získanou z ojetých pneumatik. Částice drcené pryže jsou propojeny vhodným pojivem. U těchto systémů se dosahuje zlepšení charakteristik zvukové pohltivosti tvarováním přední plochy pomocí řady děr ve tvaru rotačního elipsoida. Jako nejvhodnější pojivové systémy se jeví polybutadieny. Podobně jako předcházejících příkladech, kompozitů z partikulární pryže, je možné v těchto aplikacích využít také krátkovláknových polymerních kompozitů. Tyto recykláty nelze využít na dílce z vysokými nároky na pevnost. Lze je však aplikovat na méně namáhané části strojů či budov, jako jsou obkládací plochy. Rovněž je možno využít recyklátů jako dělících prvků (stěny kryty motorů, apod.), kde hlavní užitnou vlastností je vzduchová neprůzvučnost. Obě uvedené akustické vlastnosti – vyzařování zvuku a vzduchová neprůzvučnost spolu úzce souvisí a jsou určeny především mechanickými vlastnostmi materiálu.

1.6.2.6 Sendvičové pěnové kompozitní systémy

Základními konstrukčními prvky jsou: pěnový polymerní systém plněný partikulárním materiálem pohlcujícím zvuk, tenká bariérová vrstva. Jako podkladový materiál může být použit takový materiál (např. na bázi skleněných vláken, nylonu apod.), který jednak tlumí zvuk, jednak má např. samozhášecí nebo teplovzdorné vlastnosti. Jako bariérová vrstva může být použit tuhý PVC plněný síranem barnatým o koncentraci 60%. Jako alternativní materiály pro polymerní bariéru můžou být dále použity materiály PES, PUR, PA, nebo PE. Vlastní polymerní matrice je vytvořena různými silikony, PUR, PES, , PA atd rovněž plněny síranem barnatým společně s dutými skleněnými mikrokuličkami. Pro zlepšení užitných optických vlastností. Důležitou vlastností této pěnové matrice je struktura její vnitřní perezity vyznačující se systémem otevřených vzájemně propojených pórů.

1.6.2.7 *Sendvičové kompozity s tvarovanými kanálky (drážkami) nebo bez nich*

Tento materiál se využívá zejména na tlumení vibrací a kročejového hluku. Je vyroben z recyklované pryže z ojetých pneumatik. Skládá se z ploché vrstvy a spodní tvarované vrstvy do formy kanálků V a U tvaru, které jsou směřovány napříč plochou pod úhlem 45° . Tímto způsobem je snížena kontaktní plocha podkladového potěru.

1.6.2.8 *Sítované polymerní systémy*

Výroba těchto systémů je založena na lisování vibračně a zvukově izolačních materiálů přímo do podoby tvarovek konkrétní části zařízení. Postup výroby spočívá v iniciaci termického sítování kapalné polymerní matrice přímo ve tvarovacím zařízení. Homogení sítovací či polymerizační reakce se dosahuje použitím vstřikováním horkého roztoku monomeru do formy pomocí suché přehřáté tlakové páry. Největší využití těchto systémů je v automobilovém průmyslu.

1.6.2.9 *Protihlukové bloky*

Konstrukce těchto systémů je založena na využití geometrie tělesa sestrojeného z neprozvučného materiálu (např. betonu) a lze ji modifikovat přidávkou zvuk pohlcujícího částicově volně sypaného materiálu do volného objemu bloku.

ZÁVĚR

Cílem mojí práce bylo literárně zpracovat dané téma takže jsem neprováděl žádnou praktickou část. Z toho vyplývá, že uvedené hodnoty a parametry jsem neměřil, ale pouze přebíral z jiných pramenů (viz. seznam použité literatury). Přesto se pokusím o malé zhodnocení na základě získaných informací. V zásadě bychom mohli zvukově pohltivé materiály rozdělit do dvou kategorií a to na základě jejich mechanických a tepelných vlastností: v první kategorii jsou materiály s nízkými mechanickými a tepelnými vlastnostmi. Jako hlavní reprezentanti této skupiny to jsou materiály na bázi polymerů s převažující pórovitou nebo vláknitou strukturou konkrétně: PUR drť, pryžová drť, gumové granule atd. nebo materiály na bázi papírové drti. Tyto materiály přes jejich poměrně špatné mechanické a tepelné vlastnosti mají vynikající právě zvukově izolační vlastnosti, mají nízkou měrnou hmotnost oproti jiným materiálům. Další nespornou výhodou je to, že jsou vyráběny převážně z odpadních surovin a to se příznivě odráží na jejich výrobní ceně a v současné době na velmi důležitém faktoru jakým je ekologie a ochrana životního prostředí (redukce a využití odpadů). Mají široké využití v aplikacích kde nedochází k jejich tepelnému a mechanickému namáhání, tzn. zvukové izolace místností, budov, strojů, výplně konstrukcí atd. Další skupinou jsou materiály s dobrými mechanickými a tepelnými vlastnostmi. Patří sem hlavně pórovité kamenivo z různých expandovaných surovin např. jílu. Pro jejich vlastnosti jsou používány na výrobu, konstrukcí, budov, vyzdívek, betonů atd.

Kvalita a účinnost zvukově pohltivých materiálů závisí na typu materiálu, počtu a velikosti pórů, tloušťce, použitém pojivu atd. Nejdůležitějším faktorem z hlediska účinnosti je jejich frekvenční rozsah použití tzn. účinnost závisí hlavně na povaze a kvalitě pohlcovaného zvuku. Nejlepších výsledků pohltivosti v závislosti na druhu aplikace dosáhneme kombinací různých materiálů a konstrukcí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LAPČÍK L., RAAB M.,: Nauka o materiálech II 2. vyd. Zlín 2004
- [2] VAŇKOVÁ, M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření, 1. vyd. Brno 1995
- [3] KRÁTKÝ, A.: Materiály pro snižování hluku a vibrací v průmyslové praxi [Diplomová práce]. Zlín 2004. UTB ve Zlíně. Fakulta technologická
- [4] NOVÝ, R.: Hluk a chvění, 2. vyd. Praha 2000.
- [5] SMETANA, C: Hluk a vibrace. Měření a hodnocení. Praha 1998
- [6] RAAB, M.: Materiály a člověk. Praha 1999

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	činitel zvukové pohltivost
λ	vlnová délka
φ	fázový posun
τ	činitel zvukové průzvučnosti
ρ	hustota
ω	kruhová frekvence netlumených kmitů
π	Ludolfovo číslo
c	fázová rychlost
p	akustický tlak
p_0	amplituda akustického tlaku
p_{ef}	efektivní akustický tlak
p_b	barometrický tlak
f	kmitočet
u	akustická výchylka
v	rychlost kmitání částic
v_{ef}	efektivní akustická rychlost
S	plocha
T	perioda
P	akustický výkon
P_p	pohlčený akustický výkon
P_{dop}	dopadající akustický výkon
W	akustický výkon
W_0	referenční akustický výkon
I	intenzita zvuku

I_0	referenční intenzita zvuku
L_I	hladina akustické intenzity
L_w	hladina akustického výkonu
L_p	hladina akustického tlaku
L_{ic}	výsledná hladina akustické intenzity
N	měrný akustický výkon
Z	měrný vlnový odpor

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Přehled rychlostí zvuku v některých materiálech	10
Tab. 2. Přehled L_p a P u některých zvuků	14

